

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-288843

(43)Date of publication of application : 18.10.1994

(51)Int.Cl.

G01L 1/00
G01K 5/28
G01P 15/08

(21)Application number : 05-165269

(71)Applicant : FUJI ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 05.07.1993

(72)Inventor : AMANO AKIRA
MATSUZAKI KAZUO
SAKAI TOSHIKI

(30)Priority

Priority number : 04309921
05 19965

Priority date : 19.11.1992
08.02.1993

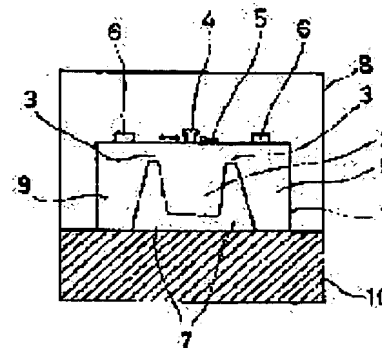
Priority country : JP
JP

(54) FORCE SENSOR, TEMPERATURE SENSOR, AND TEMPERATURE/FORCE SENSOR DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a pressure sensor, a temperature sensor, and a temperature pressure sensor device with improved sensitivity, environmental resistance, and reliability.

CONSTITUTION: An Si substrate 1 is formed partially and thinly as a support part 3, an emitter electrode 4 for releasing electrons and a gate electrode 5 are formed on a movable part 2 which is connected to the Si substrate 1 via the support part 3 and is displaced by pressure, and at the same time an anode electrode 6 which is an electron-absorbing part is formed on a thick part 9. Therefore, when the movable part 2 is displaced by pressure, the amount of released electrons 15 which are absorbed by the anode electrode 6 is reduced accordingly and output anode current is also reduced, thus measuring acceleration from the change rate.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 18.07.1995

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2639308
[Date of registration] 25.04.1997
[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]
[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]
[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-288843

(43) 公開日 平成6年(1994)10月18日

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 L 1/00		Z		
G 0 1 K 5/28		9107-2F		
G 0 1 P 15/08		Z		

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願平5-165269

(22) 出願日 平成5年(1993)7月5日

(31) 優先権主張番号 特願平4-309921

(32) 優先日 平4(1992)11月19日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平5-19965

(32) 優先日 平5(1993)2月8日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005234

富士電機株式会社

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

(72) 発明者 天野 彰

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

(72) 発明者 松崎 一夫

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

(72) 発明者 酒井 利明

神奈川県川崎市川崎区田辺新田1番1号

富士電機株式会社内

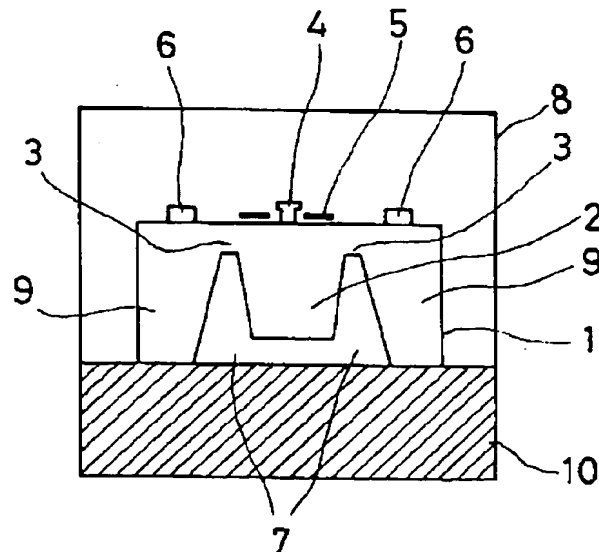
(74) 代理人 弁理士 山田 稔

(54) 【発明の名称】 カセンサ、温度センサおよび温度・カセンサ装置

(57) 【要約】

【目的】 感度が良く、しかも、耐環境性に優れた高信頼性の圧力センサ、温度センサおよび温度圧力センサ装置を提供すること。

【構成】 S i 基板1を部分的に薄肉状に形成して支持部3とし、この支持部3を介してS i 基板1に連結して圧力により変位する可動部2上に電子放出部たるエミッタ電極4およびゲート電極5を形成すると共に、厚肉部9上に電子吸収部たるアノード電極6を形成したので、可動部2が圧力により変位すると、これに倣ってアノード電極6に吸収される放出電子15の量が減少し、出力されるアノード電流も減少するため、その変化率から加速度を測定することができる。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 加えられた力又は加速度により変位可能な可動部を備える基体と、この基体の表面側に形成され、印加された電位によって電子を放出する陰極を備える冷電子放出部、およびこの陰極から放出された電子を捕獲する陽極を備える電子吸収部と、前記可動部の変位に基づいて前記陰極から放出された電子に対する前記陽極の電子捕獲効率を制御する制御手段と、を有することを特徴とする力センサ。

【請求項2】 請求項1において、前記陰極と前記陽極との間には、前記陰極から放出された電子を誘引して前記陽極に向かわせる電界を形成する補助陽極を有することを特徴とする力センサ。

【請求項3】 請求項1または請求項2において、前記制御手段は、前記電子放出部および前記電子吸収部のうちのいずれか一方が前記可動部上に形成されることにより、前記可動部の変位に基づいて前記陰極から前記陽極への電子経路を変位させて前記電子捕獲効率を制御する電子経路変位手段であることを特徴とする力センサ。

【請求項4】 請求項1または請求項2において、前記制御手段は、前記可動部上に設置されて、前記可動部の変位に基づいて前記陰極から前記陽極への電子経路に対する遮蔽状態を変えて前記電子捕獲効率を制御する遮蔽部であることを特徴とする力センサ。

【請求項5】 請求項1乃至請求項4のいずれか一項において、前記陽極周辺の電界分布を規定する電界規定用電極を有することを特徴とする力センサ。

【請求項6】 請求項1乃至請求項5のいずれか一項において、静電引力又は静電斥力により前記可動部を変位させるバイアス電極を有することを特徴とする力センサ。

【請求項7】 請求項1または請求項2において、前記可動部は、前記電子放出部と前記電子吸収部との間における前記基体が薄肉状に形成されて、加えられた力又は加速度により変形可能なダイヤフラム部であって、このダイヤフラム部自身が、その変形により前記陰極から前記陽極への電子経路を遮って前記電子捕獲効率を制御する前記制御手段であることを特徴とする力センサ。

【請求項8】 請求項7において、前記電子放出部の前記陰極は前記可動部上の中心にて形成され、前記電子吸収部の前記陽極は前記陰極の周囲に回転対称 $\pm 90^\circ$ ごとに形成された複数の独立のX軸及びY軸用陽極部であることを特徴とする力センサ。

【請求項9】 請求項7において、前記電子吸収部の前記陽極は前記可動部上で円周方向に回転対称 $\pm 90^\circ$ ごとに形成された複数の独立のX軸及びY軸用陽極部であり、前記電子放出部の前記陰極は前記陽極部の周囲に形成されてなることを特徴とする力センサ。

【請求項10】 請求項8又は請求項9において、前記X軸用陽極部と前記Y軸用陽極部との中間にはZ軸専用

2

の陽極部が形成されていることを特徴とする力センサ。

【請求項11】 請求項8ないし請求項10のいずれかの項において、前記陰極部はクシ歯状の円環形状であることを特徴とする力センサ。

【請求項12】 請求項1ないし請求項6のいずれかの項において、前記可動部は、前記基体の厚肉部より梁状に突出する形状に形成されて、加えられた圧力により変形可能な片支持可動部であることを特徴とする力センサ。

【請求項13】 請求項1ないし請求項6のいずれかの項において、前記可動部の裏面側には、印加された電位によって電子を放出する第2の陰極を備える第2の電子放出部、およびこの第2の陰極から放出された電子を捕獲する第2の陽極を備える第2の電子吸収部を有しており、

且つ、前記第2の電子放出部および前記第2の電子吸収部の下方側に充たされ、前記基体の表面側から加えられる力又は加速度に対応してこれら第2の電子放出部および第2の電子吸収部に力を与える充填材を有していることを特徴とする力センサ。

【請求項14】 請求項1ないし請求項13のいずれかの項において、前記基体は、半導体基板であることを特徴とする力センサ。

【請求項15】 請求項1ないし請求項6のいずれかの項に規定する力センサに対して、温度に対応した圧力を前記可動部に加える温度圧力変換手段を設けた圧力検出型の温度センサであって、前記温度圧力変換手段は、前記可動部の裏面側にガスが充填されて温度変化に基づく前記ガスの体積変化を圧力変化として前記可動部に加えるガス封入部であることを特徴とする温度センサ。

【請求項16】 請求項1ないし請求項14のいずれかの項に規定する力センサと、請求項15に規定する温度センサとを同一基体上に有することを特徴とする温度・力センサ装置。

【請求項17】 請求項16において、前記力センサ側の陰極と前記温度センサ側の陰極とは、前記力センサ側と前記温度センサ側との間において互いに共用になっていることを特徴とする温度・力センサ装置。

【請求項18】 請求項15において、前記ガス封入部に充填されたガスは不活性ガスであることを特徴とする温度・力センサ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、物体の加速度や力又は流体の圧力を測定する力センサ、各種雰囲気などの温度を測定する温度センサおよびそれらを備えた温度・力センサ装置に関し、さらに詳細には、冷電子放出現象を用いたセンシング機構に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 各種の雰囲気中における物理量を計測す

るセンサについては、感度の向上や被測定雰囲気に対する適合性などが求められる中にあって、新たなタイプのセンサが開発されつつある。たとえば、図34および図35に示す圧力センサは、電気抵抗体（導体および半導体）の有するピエゾ抵抗効果、すなわち、圧力による抵抗率変化によって電気抵抗が変化する現象を利用して、加えられた圧力を検出する装置であり、主に物体の加速度測定に用いられることから加速度センサと呼ばれている。この加速度センサは、電気抵抗体として半導体を用いた半導体加速度センサであり、S1（シリコン）基板141はその中央部分が薄肉状に形成され、且つ、支持部151を除いた薄肉部の周囲はエアギャップ148となっている。薄肉部の裏面には錐152が固着されており、可動部142として機能する。

【0003】支持部151の表面側にはその変形（抵抗率変化）を検知するピエゾ抵抗部143が設けられており、このピエゾ抵抗部143は拡散配線層144およびボンディングパッド145を介してリード線149に接続されている。そして、このS1基板141を静電接着法などによりキャビティ147の設けられたガラスカバー146に融着して半導体加速度センサは形成されている。このような構成の半導体加速度センサは、物体の加速度による圧力が加わると、可動部142が支持部151の弾性変形によるしなりに応じて変位する。このため、支持部151の表面側に設けられているピエゾ抵抗部143の電気抵抗値は支持部151の歪みに比例して変化するので、この電気抵抗値の変化から加速度を測定することができる。

【0004】図36に、従来の圧力センサの別の例を、また、そのストレン・ゲージ部を図37に拡大して示してある。この圧力センサは、電気抵抗体として半導体を用いた半導体圧力センサであり、流体の圧力変化を測定する装置である。この半導体圧力センサは、S1基板161を部分的に薄肉状に形成してダイヤモンド部176とし、その上方部にストレン・ゲージ部（ピエゾ抵抗部）171と、このストレン・ゲージ部171の抵抗率変化を増幅するオペ・アンプ部173および薄膜抵抗部174を形成してある。また、172はアルミニウム配線であり、175は表面保護膜である。このように形成されたS1基板161は、シリコンに熱膨張係数の近似したガラス台座164を介してベース167上に設置されて金属ケース166内に封入され、Auワイヤ165により端子169に接続される。このような構成の半導体圧力センサは、導入パイプ170から流入する流体の圧力が増し、その応力によりダイヤモンド部176が弾性変形すると、ダイヤモンド部176の上部に設けられているストレン・ゲージ部171の抵抗値は応力（歪み）に比例して変化する。この抵抗率変化をオペ・アンプ部173において増幅して出力し、求められた抵抗率変化を応力に換算することにより、流体圧力を測定する

ことができる。

【0005】図34ないし図37に示した圧力センサは、いずれも電気抵抗体として半導体を用いた半導体圧力センサであり、感度の指標となるゲージ率が金属の箔や線などを用いて構成される金属ストレン・ゲージ圧力センサのゲージ率に比して数10倍と高い。このため、半導体圧力センサは、感度が良く、また、出力が大きく増幅が容易であるなどの利点を有している。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の半導体圧力センサは、電気抵抗体有するピエゾ抵抗効果を利用しているため、比較的感度の良いとされるS1基板を用いた半導体圧力センサであっても、その抵抗率変化は定格出力印加時で～2%と小さく、精度の良い圧力測定ができないという問題がある。また、温度や圧力などによる電気抵抗体の物性変化（大きな負の温度特性）を示すため、温度補償回路を必要とし、耐環境性に劣るという問題がある。たとえば、従来の圧力センサは、高温（～120℃）、高压（～20atm）および放射線環境下では圧力による歪みに拘らずリーク電流が大きくなり、かかる条件下での信頼性の高い測定は不可能であった。また、ピエゾ抵抗部そのものの抵抗値が変動し易い（～1%/1000Hr）という問題もある。

【0007】さらに、温度センサにおいても、高温および放射線などに強い耐環境性の高いものが求められているのは、圧力センサと同様であるが、未だ実現されていないのが現状である。

【0008】そこで、本発明においては、以上の問題点に鑑みて、新しい構成の力センサおよび温度センサを実現し、感度が良く、しかも、耐環境性に優れた高信頼性の力センサ、温度センサおよび温度・力センサ装置を提供することを目的としている。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明においては、低圧下における陰極に対する電界印加により放出される冷電子を利用した新しい力センサを開発したものである。すなわち、本発明に係る力センサには、加えられた圧力により変位可能な可動部を備える基体と、この基体の表面側に形成され、印加された電位によって電子を放出する陰極を備える電子放出部、およびこの陰極から放出された電子を捕獲する陽極を備える電子吸収部と、可動部の変位に基づいて陰極から放出された電子に対する陽極の電子捕獲効率を制御する制御手段とを設けてある。

【0010】ここで、陰極と陽極との間には陰極から放出された電子を誘引して陽極に向かわせる補助陽極を設けることが好ましい。

【0011】本発明においては、制御手段として、電子放出部および電子吸収部のうちのいずれか一方を可動部上に形成することにより、可動部の変位に基づいて陰極

5

から陽極への電子経路を変位させて電子捕獲効率を制御する電子経路変位手段を利用できる。ここで、陽極周辺の電界分布を規定する電界規定用電極を設けても良いし、また静電引力又は静電斥力により前記可動部を変位させるバイアス電極を設けても良い。

【0012】また、制御手段としては、可動部上に設置されて、可動部の変位に基づいて陰極から陽極への電子経路に対する遮蔽状態を変えて電子捕獲効率を制御する遮蔽部を利用できる。さらに、電子放出部と電子吸収部との間における基体を薄肉状に形成して、加えられた圧力により変形可能なダイヤフラム部を可動部として形成し、このダイヤフラム部自身を、その変形により陰極から陽極への電子経路を変位させて電子捕獲効率を制御する制御手段として利用できる。ここで、電子放出部の陰極を可動部上の中心に形成し、電子吸収部の陽極としては陰極の周囲に回転対称 $\pm 90^\circ$ ごとに形成された複数の独立のX軸及びY軸用陽極部とすることができる。逆に、電子吸収部の陽極を可動部上で円周方向に回転対称 $\pm 90^\circ$ ごとに形成された複数の独立のX軸及びY軸用陽極部とし、電子放出部の陰極を陽極部の周囲に形成することもできる。そして、X軸用陽極部とY軸用陽極部との中間にはZ軸専用の陽極部が追加されたものでも良い。更に、陰極部は円形又は環状であっても良いが、クシ歯状の円環形状であることが望ましい。

【0013】さらに、可動部を基体の厚肉部より梁状に張出す形状にして、加えられた圧力により変形可能な片支持可動部として形成してもよい。

【0014】また、本発明において、可動部の裏面側には、印加された電位によって電子を放出する第2の陰極を備える第2の電子放出部、およびこの第2の陰極から放出された電子を捕獲する第2の陽極を備える第2の電子吸収部を設けるとともに、第2の電子放出部および第2の電子吸収部の下方側に充たされ、基体の表面側から加えられる圧力に対応してこれら第2の電子放出部および第2の電子吸収部に圧力を与える充填材を配置してもよい。

【0015】さらに、基体としては、半導体基板などを利用できる。

【0016】本発明において、上記構成の力センサに対して、温度に対応した圧力を可動部に加える温度圧力変換手段を設けることによって圧力検出型の温度センサを構成でき、この場合には、温度圧力変換手段として、可動部の裏面側にガスが充填されて温度変化に基づくガスの体積変化を圧力変化として可動部に加えるガス封入部を設ける。ガス封入部には不活性ガスを充填することが好ましい。

【0017】ここで、上記の力センサと温度センサとを同一基体上に設けて、温度・力センサ装置を構成することができる。この場合には、力センサ側の陰極と温度センサ側の陰極とを力センサ側と温度センサ側との間にお

6

いて互いに共用することもできる。

【0018】

【作用】斯かる手段を講じた本発明に係る力センサにおいては、低圧下における陰極（冷陰極）から陽極への電界放出に着目して、力又は加速度により変位する可動部に基づく制御手段が陽極に捕獲される電子捕獲効率を決定する構成の力センサを実現したものである。すなわち、陰極から放出された冷電子が陽極に到達すると、陽極からは捕獲電子量に基づく電流が出力されるので、可動部の変位に基づいて陽極の電子捕獲効率を制御する制御手段による出力電流の変化率から力又は加速度を測定することができる。この測定の指標となる出力電流の変化率は最大100%に設定することが可能であり、出力電流が圧力に応じて大きく増減するため、感度が良く、また、電界放出を利用しているので、放射線および高温、高圧に強い耐環境性に優れた高信頼性の力センサを構築することができる。それ故、自動車、ジェット機および船舶などのエンジン内の環境的に非常に厳しい条件下での圧力測定が可能となる。また、構成としても簡略化が図られているため、低廉化が可能である。

【0019】この力センサにおいて、電子放出部および電子吸収部のうちのいずれか一方を可動部上に形成することにより、陰極から陽極への電子経路を変位させる電子経路変位手段を電子捕獲効率の制御手段とした場合には、圧力を受けて変位する可動部に倣って電子放出部、あるいは電子吸収部もその位置を変位させるため、電子放出部と電子吸収部との間には高低差が生じ、基体の表面と略平行に進行する電子の障壁となり、電子捕獲効率が増加するので、出力電流の変化率から圧力を測定することができる。また、可動部上に設置され、陰極から陽極への電子経路を遮蔽可能な遮蔽部を制御手段とした場合には、可動部の変位に倣って遮蔽部が変位し、電子経路が解放されて電子捕獲効率を増加させるので、上述した圧力センサと同様な効果を得ることができる。また、可動部を基体が薄肉状に形成されたダイヤフラム部とし、このダイヤフラム部が変位することにより、陰極から陽極への電子経路を変位させる電子経路変位手段を制御手段とした場合にも、上述した制御手段と同様な効果を得ることができる。そして、陽極周辺の電界分布を規定する電界規定用電極を設けた場合には、電子経路の拡散や絞り込みが可能であり、感度ないし分解能を向上させることができる。また静電引力又は静電斥力により可動部を変位させるバイアス電極を設けた場合には、容易に作動チェックを行なうことができ、テスト容易性に寄与する。また、センサのバラツキに応じた値の電位をバイアス電極に印加して測定することで特性の画一化を図ることができるので、校正電極としての意義もある。

【0020】X軸、Y軸上に複数の独立の陽極部を設けることにより、力又は加速度の多次元成分（モーメント成分も含む）を検出可能になる。

7

【0021】これらの力センサにおいて、可動部が基体の厚肉部より梁状に張出す片支持可動部となっている場合には、片支持可動部の先端側は圧力に対応して大きく可動する反応容易性を有しているため、力の微小な変化を検知することができる。また、基体の裏面側に、第2の電子放出部および第2の電子吸収部と、基体の表面側からの力又は加速度に対応してこれら第2の電子放出部および第2の電子吸収部に圧力を与える充填材とを有している場合には、基体の表面側と裏面側とにそれぞれ出力電流部（電子吸収部）を有するため、大きな出力電流を得ることができるので、圧力による出力電流の変化率が顕著となり、力センサの感度を更に向上させることができる。そして、基体の上方側に、その表面と対向する主面を有して形成された上方電極を有している場合には、この上方電極と基体の表面とに強力な同電位を印加することにより、基体の表面側に電界反発による応力を発生させることができるので、力センサの作動正否を事前に、容易に確認することができる。

【0022】上記の圧力センサにおいて、基体は可動部を有すれば良く、導体（半導体）、絶縁体を問わない。従って、基体としては金属や半導体、またはガラスなどを採用することが可能であるが、特に、半導体基板を採用した場合には、ミクロン・オーダーの微細加工が可能なので、圧力センサの小型化を図ることができ、その用途を拡大することができる。

【0023】また、力センサに対して、温度に対応した圧力を可動部に加える温度・力変換手段として、可動部の裏面側にガスが充填されて温度変化に基づくガスの体積変化を圧力変化として可動部に加えるガス封入部を設けて温度センサを構成すると、温度変化に対応してガス封入部内のガスが膨張または圧縮し、温度に対応した圧力を可動部に加える。その結果、圧力変化に対応した可動部の変位によって、陽極における電子捕獲効率が変化し、温度を計測することができる。

【0024】

【実施例】つぎに、添付図面を参照して本発明の実施例を説明する。

【0025】〔実施例1〕以下に、図1ないし図4を参照して本発明の実施例1に係る圧力センサについて説明する。図1は本発明の実施例1に係る圧力センサの構成を示す断面図、図2は本圧力センサに加速度による圧力が加わった状態を示す断面図、図3は基板上に形成された各電極を拡大して示す斜視図、そして、図4は各電極のバイアス状態を示す説明図である。なお、本例の圧力センサは、加速度による圧力に作用して動作し、その大きさを測定する加速度測定型の圧力センサである。

【0026】これらの図において、本例の圧力センサは基体（可動部を備える弾性体部材）としてS i基板1を用いており、S i基板1を裏面側から異方性エッチングしてV字状の溝7をS i基板1の表面付近まで形成して

8

ある。そして、2つのV溝7に挟まれた領域の裏面部分を除去して、厚肉部9に薄肉状の支持部3を介して連結する宙吊り状態の可動部2を形成してある。このような形状を呈するS i基板1の表面側には、可動部2上にエミッタ電極（冷陰極）4およびゲート電極（制御電極）5からなる電子放出部（電界放出部）が形成されている一方、固定部としての厚肉部9上には電子吸収部たるアノード電極（陽極）6が形成されている。可動部2上の中央部に形成されたエミッタ電極4は、円柱状で上方部には外周側へ張出した底部12を有している。このエミッタ電極4は、S i基板1の表面にアルミニウム膜とタングステン膜とをこの順に堆積させ、反応性イオンエッチングによりタングステン膜からなる底部12を形成し、さらに、リン酸系のエッチング液によりアルミニウム膜をエッチングして円柱部を得ている。一方、ゲート電極5はエミッタ電極4に対応して設けられた複数の開孔部13を有する平板状のタングステン膜であり、絶縁膜14を介してS i基板1上に設置されている。ここで、エミッタ電極4の底部12の外径は約1.5 μm 、ゲート電極5の開孔部13の内径は約3 μm であり、底部12のエッジ部分と開孔部13のエッジ部分との距離は約0.75 μm の極く近傍に設定されている。また、エミッタ電極4の高さは約1 μm 、相互の離間距離は約10 μm となっている。また、アノード電極6はゲート電極5と同様に、平板状のタングステン膜からなり、エミッタ電極4から約5mm離隔した位置に、S i基板1上に絶縁膜14を介して設置されている。なお、アノード電極6はエミッタ電極4の一方側側方部および他方側側方部にそれぞれ設置されている。そして、これら電極を備えたS i基板1はベース10に半田接合された後、ガラスキャップ8に封入され、ガラスキャップ8内は真空度 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ Torrの高真空雰囲気とされる。

【0027】このような構成を有する本例の圧力センサは、図4に示されるバイアス状態のもとで使用される。すなわち、エミッタ電極4を負に、ゲート電極5およびアノード電極6をそれぞれ正にバイアスする。そして、ゲート電極5に印加されるゲート電圧が約80Vのしきい電圧以上となると、エミッタ電極4に印加する外部電界は $\sim 10^9$ V/m以上になるので、エミッタ電極4の表面のポテンシャル障壁の高さ及び幅が減少し、ショットキー効果の電界放出現象（量子力学的トンネリング効果）によりエミッタ電極4から電子15が放出される。ここで、エミッタ電極4は上述した底部12を有する平面型構造であるため、冷電子15は電界集中する底部12のエッジ部分から主としてS i基板1に対して略平行に放出される。このエミッタ電極4から放出された電子15は、ゲート電極5上を進行してアノード電極6に捕獲され、アノード電流として検出される（エミッタ電極4からの放出電流は $\sim 10 \mu\text{A}$ /1つのエミッタ電極4当たり）。

【0028】本例の圧力センサは、Si基板1が部分的に薄肉状に形成された支持部3のみによって保持され、適度な重量を有する宙吊り状態の可動部2を備えているため、Si基板1の表面側からZ軸方向に加速度又は圧力Gが加わると、可動部2は支持部3のしなり力に応じて変位し、下方側へ陥没する。この時、可動部2と支持部3との境界部分には、可動部2が窪んだことにより障壁20が相対的に現出するため、エミッタ電極4の底部12から放出される電子15はその経路を障壁20に遮られるので、アノード電極6へ到達しない。エミッタ電極4の底部12から放出される電子15は、ガラスキャップ8内に散乱せずにSi基板1と略平行に進行するため、可動部2が変位により陥没し、障壁20が現出すると、その障壁20の高さ、すなわち、可動部2に作用する圧力の大きさに比例して、集電電界分布が乱され、アノード電極6に到達する電子15は減少し、出力されるアノード電流も減少する。よって、得られるアノード電流の変化率から可動部2のZ軸方向の変位を求めることができ、Si基板1の変形率から換算して加速度を算出することができる。すなわち、エミッタ電極4（電子放出部の側）が可動部2上に形成されることにより、可動部2の空間変位に基づいてエミッタ電極4からアノード電極6への電子経路（電界分布）が変化するため、これらの構造が電子経路変位手段（制御手段）として機能し、アノード電極6での電子捕獲効率を制御する。

【0029】このように、本例の圧力センサにおいては、圧力により変位する可動部2上に、電子放出部たるエミッタ電極4およびゲート電極5を形成すると共に、厚肉部9上に、電子吸収部たるアノード電極6を形成したので、可動部2が圧力により変位すると、これに倣ってアノード電極6に吸収される放出電子15の量が減少し、出力されるアノード電流も減少するため、その変化率から圧力の大きさ、すなわち、加速度を測定することができる。従って、電気抵抗体のピエゾ抵抗効果を利用する従来の圧力センサと異なり、本例はショットキー効果を利用した電子放出部を有し、その電流密度が温度に殆ど依存せず、温度補償が不要となる。従って、放射線および高温、高圧環境に強い耐環境性に優れた高信頼性の圧力センサを構築することができる。ここで、エミッタ電極（冷陰極）4から電界放出される冷電子の電流密度jは、次のファウラ・ノードハイムの式（Fowler-Nordheim equation）で与えられる。

$$【0030】 j = AF^2 / \phi \exp(-B \phi^{3/2} / F)$$

但し、 $F = \beta V$ 、 β は幾何学的量係数、 V はエミッタ電極4とゲート電極（陽極）との電位差、 ϕ はエミッタ電極（陰極金属：タングステン）4の仕事関数、 A 、 B は定数である。この式は温度0°Kと仮定し、フェルミ準位以下の電子が放出されるものとして計算した式であるが、温度にあまり関係しないことが実験的に知られており、常温以上でも通常用いられている。

【0031】また陽極6における集電率の増減は可動部2の空間的変位による電界分布の変化に依存するものであるので、可動部2、エミッタ電極4、陽極6等の各要素の幾何学的配置や変形の形態を工夫することにより、アノード電流の変化率を圧力に応じて大きく増減させることが可能になり、高感度の圧力センサを実現できる。電極間電位差Vを増減させることにより冷電子放出の電流密度を簡単に増減させることができるので、微小圧力検出が可能で、またダイナミックレンジも広くすることができる。さらに、センサ構造は半導体製造プロセスを用いることができるので、圧力センサの量産性による低コスト化にも寄与するものである。

【0032】ここで、各電極の形状および個数は本例に限るものではなく、図5にその一例を、図1に示す圧力センサに対応する部分には同一符号を付して示す。図において、エミッタ電極4はタングステン膜からなるクシ歯状に形成され、下方側に設置されたゲート電極5の側へ張出すようにSi基板1上に絶縁膜14を介して設置されている。クシ歯状のエミッタ電極4としては、たとえば、クシ歯の幅が2〜3μm、奥行き（深さ）が20〜30μm、相互のピッチが10μm、また、厚さは1μmとすることができる。また、ゲート電極5は平板状でSi基板1上に直接設置され、同じく平板状を呈するアノード電極6は、エミッタ電極4に対してゲート電極5を挟み対峙するSi基板1上に、絶縁膜14を介して設置されている。このような構成のSi基板1を備える圧力センサにおいても、図1ないし図4に示す圧力センサと同様に、エミッタ電極4を負に、そして、ゲート電極5およびアノード電極6をそれぞれ正にバイアスして使用する。本例においては、エミッタ電極4のクシ歯状のそれぞれの端面はゲート電極に対して幾何学的に平等であるため、いずれの端面における電流密度も相等しくなる。従って、電界放出のしきい値電圧がほぼ一定となるため、分解能の良いセンサが実現されている。

【0033】〔実施例2〕図6は、本発明の実施例2に係る圧力センサの構成を示す断面図である。なお、本図において、図1に示す実施例1の圧力センサと同一部分には同一参照符号を付してその説明を省略する。本例の圧力センサも実施例1の圧力センサと同様の加速度測定型の圧力センサであるが、実施例1の圧力センサと異なる点は、各電極の配置にある。すなわち、Si基板1の一方側厚肉部9a上にはエミッタ電極4およびこの近傍に設置されたゲート電極5からなる電子放出部が、一方、他方側厚肉部9b上には電子吸収部たるアノード電極6が、相互に対峙するように形成されている。そして、これら一方側厚肉部9aと他方側厚肉部9bとの間の可動部2上には円柱状で高さが約10μmのアルミニウムの遮蔽壁11が設置されている。

【0034】このような構成の圧力センサにおいても実施例1の圧力センサと同様に、エミッタ電極4を負に、

11

ゲート電極5およびアノード電極6をそれぞれ正にバイアスして使用する。そして、ゲート電極5に印加されるゲート電圧がしきい電圧を超え、エミッタ電極4とゲート電極5との電位差が所定の値となると、エミッタ電極4から電子15が放出される。ここで、本例の圧力センサにおいては、エミッタ電極4とアノード電極6との間の可動部2上に遮蔽壁11（障壁部、制御手段）が設けられているため、加速度が加わっていない状態では放出電子15は遮蔽壁11に妨げられてアノード電極6へは到達できないので、アノード電流は検出されない。この状態から加速度が加わり、圧力Gが作用すると、図7に示すように可動部2が支持部3のしなり（歪み）に応じて下方側へ陥没し、併せて遮蔽壁11も変位するため、放出電子15の経路が解放され、アノード電極6に到達した放出電子15によりアノード電流が検出されるようになる。このように、本例の圧力センサにおいては、加速度の大きさに依ってアノード電極6に吸収される放出電子15が多くなり、出力されるアノード電流が増すので、実施例1の圧力センサと同様に、アノード電流の変化率から加速度を換算することができる。

【0035】〔実施例3〕図8は、本発明の実施例3に係る圧力センサの構成を示す断面図であり、図9はその平面図である。なお、これらの図において、図1に示す実施例1の圧力センサに対応する部分には同一参照符号を付してその説明を省略する。この圧力センサにおいて、実施例1の圧力センサと異なる点は、可動部がS i基板1の厚肉部より梁状に張出した片支持可動部（片持ち梁ないしカンチレバー）27として構成されている点にある。この圧力センサにおいて、片支持可動部27の上にはアノード電極6が形成されており、一方、この片支持可動部27にエアギャップ17を隔てて対峙するS i基板1上にはゲート電極5およびエミッタ電極4がこの順に形成されている。そして、これら電極を備えたS i基板1がガラスカバー18に融着されて本例の圧力センサは形成されている。

【0036】このような構成の圧力センサにおいても実施例1および実施例2の圧力センサと同様に、エミッタ電極4を負に、ゲート電極5およびアノード電極6をそれぞれ正にバイアスして使用する。ゲート電極5にしきい電圧以上の電圧が印加されると、電子がエミッタ電極4から放出されてアノード電極6に捕獲され、アノード電流がパッド19を介して出力される。そして、加速度による圧力により片支持可動部27が下方側へ変位すると、エミッタ電極4から放出された電子は下方側へ変位したアノード電極6の上方を飛び越えて行きアノード電極6には捕獲されにくくなる。このため、パッド19から出力されるアノード電流はアノード電極6の傾き程度、すなわち、変位によってアノード電極6を移動させてアノード電極6での電子捕獲効率を制御する制御手段としての片支持可動部27に作用する圧力の大きさに依

12

じて変化（減少）するので、このアノード電流の変化率から加速度を測定することができる。従って、実施例1の圧力センサと同様の効果を得ることができる。

【0037】〔実施例4〕図10は、本発明の実施例4に係る圧力センサの構成を示す断面図であり、図11はその平面図である。なお、本例の圧力センサにおいても、図1に示す実施例1の圧力センサと同一部分には同一参照符号を付してその説明を省略する。本例の圧力センサにおいて、実施例1の圧力センサと異なる点は、可動部2の裏面側に第2の電子放出部および電子吸収部が形成されており、また、S i基板1の上方側にS i基板1と略同等の表面積を有して対向する上方電極が設置されている点にある。すなわち、可動部2の裏面側には可動部2の表面側に形成されるエミッタ電極4と対称形の下部エミッタ電極24が設置されており、この下部エミッタ電極24の近傍には下部ゲート電極25が設置されている。そして、これら下部エミッタ電極24および下部ゲート電極25からなる第2の電子放出部に対し、第2の電子吸収部である下部アノード電極26が下部エミッタ電極24の下方側を覆うように形成されている。ここで、下部エミッタ電極24は引出し配線29および拡散配線層31を介してS i基板1上の引出し電極24aに接続されており、また、下部ゲート電極25は引出し配線（図示せず）および拡散配線層32を介してS i基板1上の引出し電極25aに、下部アノード電極26は引出し配線28および拡散配線層33を介してS i基板1上の引出し電極26aにそれぞれ接続されている。また、エミッタ電極4も引出し配線30を介してS i基板1上の端部に設けられた引出し電極4aに接続されている。なお、第2の電子放出部および電子吸収部が形成されたS i基板1の下方部領域にはオイル23が充填されている。そして、S i基板1の上方側にはこれと略同等の表面積を有して対向する上方電極21が電極支持部材22を介して設置されている。

【0038】このような構成の圧力センサは、S i基板1上に、圧力により可動する可動部2と共に変位する電子放出部と、この電子放出部から放出された電子を吸収してアノード電流を出力する電子吸収部とを有しているため、実施例1の圧力センサと同様に、出力されるアノード電流の変化率から圧力を換算し、加速度を求めることができる。これに加えて、本例の圧力センサにおいては、可動部2の裏面側に第2の電子放出部および電子吸収部を有しているため、加速度による圧力Gの作用時に出力されるアノード電流を増加させることができ、その変化率も顕著となるので、圧力センサの感度を向上させることができる。すなわち、S i基板1の表面側から加速度による圧力Gが作用すると、可動部2が変位するため、S i基板1の下方部領域に充填されているオイル23は圧縮されて下部アノード電極26の面に下部圧力gを作用させる。この下部圧力gにより、下部アノード電

13

極26は下部エミッタ電極24の側へ変形し、また、圧力Gによる可動部2の変位に倣って下部エミッタ電極24が下部アノード電極26の側へ変位するため、下部エミッタ電極24と下部アノード電極26との距離が短縮されるので、下部アノード電極26に吸収される電子が増し、アノード電流が増加する。

【0039】また、本例の圧力センサにおいては、S i 基板1の上方側に上方電極21を有しているため、装置が正常に作動するか否かの作動チェックを容易に行なうことができる。すなわち、上方電極21と、エミッタ電極4a、ゲート電極5、アノード電極6、引出し電極24a、25aおよび26aからなるS i 基板1上の電極とを静電容量用の大電極として、双方に強い同電位を印加することにより、S i 基板1の表面側へ電界反発による圧力Gを発生させることができ、アノード電流の変化を確認することができるので、特別なチェック機器なしで装置の良否を判定することができる。

【0040】〔実施例5〕図12は、本発明の実施例5に係る圧力センサの構成を示す断面図である。なお、本図において、図6に示す実施例2の圧力センサと同一部分には同一参照符号を付してその説明を省略する。この圧力センサにおいて、実施例2の圧力センサと異なる点は、S i 基板1の中央部が薄肉状のダイヤフラム部16として形成されている点にあり、実施例2の圧力センサにおいて放出電子経路を遮蔽している遮蔽壁11の機能をダイヤフラム部16で実現していることにある。なお、本例の圧力センサは、その使用態様が実施例1ないし実施例4の圧力センサと異なり、ベース10に設けられた導入部36から流入する流体の圧力を測定することを目的に用いられる。

【0041】このような構成の圧力センサにおいて、流体の圧力がダイヤフラム部16に作用しない状態では、エミッタ電極4から放出される電子15はアノード電極6に吸収され、アノード電流として出力される。そして、流体の圧力が増してダイヤフラム部16に作用し、ダイヤフラム部16が変位（変形）Pすると、電子15はその経路をダイヤフラム部16によって妨げられるため、アノード電極6に到達する電子15が減少し、アノード電流も減少する。すなわち、ダイヤフラム部16自身が、その変形によりエミッタ電極4からアノード電極6への電子経路を遮ってアノード電極6での電子捕獲効率を制御する制御手段として機能する。

【0042】このように、本例の圧力センサにおいても、得られるアノード電流の変化率から圧力を換算して流体の圧力を測定することができる。ここで、本例の圧力センサを車載用感圧センサ、たとえば、気化器吸入空気量センサに用いた場合には、耐温度を $\sim 400^{\circ}\text{C}$ 、耐圧力を $\sim 100\text{atm}$ とすることが可能である。また、ブレーキオイルセンサに用いた場合には、耐圧力を $30\sim 100\text{atm}$ とすることが可能であり、従来のピエゾ

14

抵抗効果を利用した圧力センサに比して格段に性能を向上させることができる。

【0043】〔実施例6〕図13は、本発明の実施例6に係る温度圧力センサ装置の構成を示す断面図、図14はその平面図である。なお、本例の温度圧力センサ装置は、圧力センサ（感圧変換デバイス）と温度センサ（感温変換デバイス）とを同一基体上に有するワンチップデバイスとしての真空マイクロデバイスであって、そのうち、圧力センサ側の動作原理は、実施例5に係る圧力センサと基本的に同一である。また、温度センサの側は、圧力センサの動作原理を利用し、温度変化を圧力変化に代えてアノード電流を検出し、それから温度を計測する圧力検出型の温度センサである。

【0044】図13および図14において、本例の温度圧力センサ装置40は、ベース53に対してキャップ54が気密接着されて、その内部が $10^{-5}\sim 10^{-8}\text{Torr}$ の真空状態に封止され、S i 基板からなる基体たるセンサチップ41には、2つのダイヤフラム部（可動部）、すなわち、感温部ダイヤフラム42および感圧部ダイヤフラム43を有する。また、感温部ダイヤフラム42と感圧部ダイヤフラム43との中間位置には、共通の電子放出部としての冷陰極44（エミッタ電極）が設けられ、その近傍位置には第1のゲート電極46および第2のゲート電極47を設けられている。ここで、冷陰極44は、冷陰極下部共通電極層45から上方に突出する6本の電極として形成されており、冷陰極下部共通電極層45には、ベース53にガラスシール50を介して固定された端子51が金ワイヤ55を介して電氣的接続されている。また、第1のゲート電極46および第2のゲート電極47にも、ベース53にガラスシール50を介して固定された端子51が金ワイヤ55を介して電氣的接続されている。さらに、感温部ダイヤフラム42および感圧部ダイヤフラム43と対峙する位置には第1のアノード電極48および第2のアノード電極49を備える電子吸収部が設けられている。ここで、第1のアノード電極48および第2のアノード電極49にも、ベース53にガラスシール50を介して固定された端子51が金ワイヤ55を介して電氣的接続されている。

【0045】このため、感温部ダイヤフラム42および感圧部ダイヤフラム43のいずれの側においても、基本的には圧力センサとして機能するようになっている。すなわち、冷陰極44に負の電位を印加する一方、第1のアノード電極48、第2のアノード電極49、第1のゲート電極46および第2のゲート電極47に正の電位をバイアス印加しておくと、冷陰極44と第1のゲート電極46および第2のゲート電極47との間の電圧が一定のしきい値を越えると、キャップ54内側の真空封止部58内において、量子学的トンネリング現象によって冷陰極44より放出電子62、63が放出される。ここで、放出電子62、63は、第1のアノード電極48お

15

よび第2のアノード電極49に印加されている電圧に基づいて集電子され、アノード電流として検出される。従って、感温部ダイヤフラム42または感圧部ダイヤフラム43が、それに加えられた圧力によって、図15に変形状態の感温部ダイヤフラム64および変形状態の感圧部ダイヤフラム65として示す状態に膨らむと、冷陰極44から第1のゲート電極46を介して第1のアノード電極48に至る経路および冷陰極44から第2のゲート電極47を介して第2のアノード電極49に至る経路のいずれの側においても、その経路の一部または全部が感温部ダイヤフラム42または感圧部ダイヤフラム43によって遮られて第1のアノード電極48および第2のアノード電極49での電子捕獲効率が増加し、第1のアノード電極48および第2のアノード電極49から取り出されるアノード電流が増加する。ここで、感温部ダイヤフラム42および感圧部ダイヤフラム43の変形量は、感温部ダイヤフラム42および感圧部ダイヤフラム43に加えられた圧力に規定され、第1のゲート電極46から第1のアノード電極48または第2のアノード電極49に至る経路が遮られる程度は、感温部ダイヤフラム42および感圧部ダイヤフラム43の変形量に規定される。すなわち、感温部ダイヤフラム42および感圧部ダイヤフラム43は、圧力変化に基づいて動作する障壁層として機能し、それら自身が変形によって第1のアノード電極48または第2のアノード電極49での電子捕獲効率（アノード電流）を制御する制御手段である。このため、第1のアノード電極48および第2のアノード電極49から取り出されたアノード電流から、感温部ダイヤフラム42または感圧部ダイヤフラム43に加えられた圧力の大きさを計測することができる。

【0046】さらに、感温部ダイヤフラム42および感圧部ダイヤフラム43のいずれの直下にも、それぞれ2つの円錐台形状の微小な空間部が形成されており、そのうちの一方は、微量のガスを気密封止したガス封入部56にされ、他方には導入パイプ52が導入口61を介して接続された微小空間部57にされている。そのうち、感圧部ダイヤフラム43には導入パイプ52および微小空間部57を介して圧力が印加可能になっており、ここに加えられた圧力によって感圧部ダイヤフラム43が変形可能であるとともに、所定の圧力を加えたときに第1のアノード電極48から検出されるアノード電流に変化を把握しておけば、圧力の計測時に検出されたアノード電流から圧力を換算可能である。すなわち、感圧部ダイヤフラム43の側は、圧力センサとして機能する。

【0047】一方、ガス封入部56にはアルゴンガスなどが封入されており、ここに封入されているガスは、下式で表されるボイルシャルルの法則に従って温度変化に対応して膨張または収縮を行い、それを圧力変化として、感温部ダイヤフラム42に印加可能である。

$$【0048】 p v = n R T$$

16

v : ガス封入部56の内容積 (リットル)、p : 圧力 (atm)

n : 封入したガスのモル数、R : 気体定数、T : 絶対温度 (K)

ここで、感温部ダイヤフラム42に印加される圧力は、絶対温度に比例する。

【0049】すなわち、温度が高くなると、ガス封入部56内のガスが膨張しようとして、その内圧が上昇し、高い圧力が感温部ダイヤフラム42に加わる。その結果、感温部ダイヤフラム42が大きく変形し、第2のアノード電極49から取り出されるアノード電流を低下させる。温度が逆に低くなると、ガス封入部56内のガスが収縮しようとして、その内圧が低下し、低い圧力が感温部ダイヤフラム42に加わる。それ故、所定の温度で、所定の圧力になるようにガスをガス封入部56に封入しておけば、それを基準にして、第2のアノード電極49から取り出されるアノード電流の変化から温度を計測することができる。

【0050】そこで、本例の温度圧力センサ装置40においては、ガス封入部56の内容積が以下の手順で求まるので、ガス封入部56へのガスの封入量を規定し、基準状態を規定してある。すなわち、円錐台形状のガス封入部56の高さをh、下面59の側の内径をr₁、上面60の側の内径をr₂とすれば、内容積Vは以下の式により求まる。

【0051】

【数1】

$$V = \frac{\pi h}{3} (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2)$$

$$= \frac{\pi}{4} (a^2 + \frac{\pi b^2}{3})$$

【0052】但し、a = r₁ + r₂、b = r₁ - r₂である。

【0053】従って、形状のガス封入部56の高さhを270 μm、上面側の内径r₂を0.8 μm、下面側の内径r₁を1.0 μmとすると、その内容積Vは、上式により約7 × 10⁻¹⁰ リットルと求まる。

【0054】ここで、温度が300 Kのときにガス封入部56から感温部ダイヤフラム42に0.01 atmの圧力が加わるように設定するには、上述のボイルシャルルの法則からモル数(n)で約2.8 × 10⁻¹⁸ モルのガスをガス封入部56に封入しておけばよい。この場合には、温度が800 Kになったときには、ガス封入部56から感温部ダイヤフラム42に約0.26 atmの圧力が加わる。従って、ガス封入部56から感温部ダイヤ

フラム42に0.01atmから0.26atmの圧力が加わった状態における第2のアノード電極49から取り出されたアノード電流値を求めておき、温度の計測時に検出されたアノード電流を温度に換算すれば、温度が求まる。すなわち、感温部ダイヤフラム42の側は、温度センサとして機能する。なお、ガス封入部56に封入するガスとしては、アルゴンガスなど分子量の大きな不活性ガスが経時的安定性や透過性などの面で好ましい。

【0055】以上のとおり、本例の温度圧力センサ装置40においては、感圧部ダイヤフラム43の側は圧力センサとして機能し、感温部ダイヤフラム42の側は温度センサとして機能するため、1つの温度圧力センサ装置によって、温度および圧力のいずれをも検出可能である。ここで、温度および圧力の指標となるアノード電流は、感温部ダイヤフラム42および感圧部ダイヤフラム43に加えられた圧力に対応して大きく変化するため、感度が高く、信頼性も高い。しかも、本例の温度圧力センサ装置40では、電界放出を利用しているため、放射線、高温、高圧雰囲気にも耐え得ることができ、耐環境性が高い。

【0056】また、圧力センサ側および温度センサ側の冷陰極として、共通のものを使用しているため、回路構成などが簡略化できる。しかも、圧力センサ側および温度センサ側の基本的な構造を同一にしているため、その製造面およびアノード電流の検出系を簡略化できる。従って、信頼性の高い温度圧力センサを安価に製造できる。また、圧力センサ側および温度センサ側の基本的な構造を同一にしているため、温度センサ側でのアノード電流を温度に換算するにあたってのデータ収集を圧力センサに印加する圧力を変えて測定したデータに基づいて

【0057】〔実施例7〕図16は、本発明の実施例7に係る温度圧力センサ装置の構成を示す断面図である。ここで、本例の温度圧力センサ装置も、実施例6に係る温度圧力センサ装置と同様に、圧力センサと温度センサとを同一基体上に有する。本例の温度圧力センサ装置において注目すべき点は、感圧部ダイヤフラム側の構成であり、その他の部分は実施例6に係る温度圧力センサ装置と同様であるため、以下の説明においては、共通する部分には同符号を付してそれらの詳細な説明を省略する。

【0058】図16において、本例の温度圧力センサ装置70も、Si基板からなるセンサチップ41には感温部ダイヤフラム42および感圧部ダイヤフラム43を有し、それらの中間位置には冷陰極44が設けられて、そこが電子放出部になっている。この電子放出部には、冷陰極44の近傍位置に第1のゲート電極46および第2のゲート電極47が設けられている。さらに、感温部ダイヤフラム42および感圧部ダイヤフラム43と対峙する位置には第1のアノード電極48および第2のアノード

ド電極49が設けられている。

【0059】ここで、感温部ダイヤフラム42および感圧部ダイヤフラム43のいずれの側も、原理的には圧力センサとして機能し、そのうち、感温部ダイヤフラム42の側には、その裏面側に微量のガスを気密封止したガス封入部56が形成されているため、感温部ダイヤフラム42の側は、実施例6に係る温度圧力センサ装置と同様に、温度センサとして機能するようになっている。

【0060】さらに、本例の温度圧力センサ装置70においては、センサチップ41の外周側の端子51に金ワイヤ55で電氣的接続された補助アノードパターン（図示せず。）および補助アノード取り出し拡散層67が形成されており、この補助アノード取り出し拡散層67に補助アノード電極66が電氣的接続されている。ここで、補助アノード電極66は、感圧部ダイヤフラム43の表面側にある一方、その周囲に補助アノード取り出し拡散層67がある。この補助アノード取り出し拡散層67は、センサチップ41のSi基板に対する不純物拡散層として形成されているため、感圧部ダイヤフラム43の変形を妨げない。

【0061】本例の温度圧力センサ装置70においても、図17に示すように、冷陰極44からは、放出電子68、69、70、71、72が放出されるが、一般に、放出電子のうちには、放出電子68、69、70、71のように、第1のアノード電極48に捕獲されないものがある。そこで、本例の温度圧力センサ装置70においては、冷陰極44と第1のアノード電極48との間に補助アノード電極66を設けて、それが形成する電界によって、冷陰極44から放出された放出電子68、69、70、71、72を引き寄せるとともに、それを第1のアノード電極48に向かわせて第1のアノード電極48における電子捕獲効率を高めてある。すなわち、補助アノード電極66に正の適正な電位を印加しておくと、図17に示すように、感圧部ダイヤフラム43が変形しない状態で、冷陰極44から放出された放出電子68、69、70、71、72は、補助アノード電極66に引き寄せられて、ほとんどの放出電子68、69、70、71、72が第1のアノード電極48で捕獲される。このため、基準状態、すなわち、感圧部ダイヤフラム43が変形しない状態において、第1のアノード電極48における電子捕獲効率が高いので、センサとしての感度が高い。

【0062】なお、図17において、温度圧力センサ装置70は、そのまま、高温、高真空装置内に入れて、そこでの温度および真空状態を計測するものであるため、感温部ダイヤフラム42および感圧部ダイヤフラム43の表面側をキャップで覆っていないが、図18に示すように、キャップ54を設けて内部を真空気密状態にしてもよい。なお、図18には感圧部ダイヤフラム43が変形した状態を示してあり、放出電子62が補助アノード

電極66に引き寄せられている状態を示す。

【0063】また、図19に実施例7の変形例に係る温度圧力センサ装置の断面図を示し、図20にその平面図を示すように、感圧部ダイヤフラム43の側に、センサチップ41の外周側の端子51に金ワイヤ55で電気的接続された補助アノードパターン66b、補助アノード取り出し拡散層67および補助アノード電極66を設ける一方、感温部ダイヤフラム42の側にも、センサチップ41の外周側の端子51に金ワイヤ55で電気的接続された補助アノードパターン66bおよび補助アノード取り出し拡散層67を設け、この補助アノード取り出し拡散層67に電気的接続する補助アノード電極66aを設けてもよい。この場合には、感温部ダイヤフラム42においても、温度変化に基づいて、ガス封入部56から加えられた圧力から温度を感度よく検出できる。しかも、感圧部ダイヤフラム43および感温部ダイヤフラム42から周囲への配線は、補助アノード取り出し拡散層67で行っているため、感圧部ダイヤフラム43および感温部ダイヤフラム42の変形を妨げない。

【0064】〔実施例8〕図21は、本発明の実施例8に係る温度圧力センサ装置の構成を示す断面図である。ここで、本例の温度圧力センサ装置も、実施例6に係る温度圧力センサ装置と同様に、圧力センサと温度センサとを同一基体上に有する。本例の温度圧力センサ装置において注目すべき点は、感温部ダイヤフラム側の構成であり、その他の部分は実施例6に係る温度圧力センサ装置と同様であるため、以下の説明においては、共通する部分には同符号を付してそれらの詳細な説明を省略する。

【0065】図21において、本例の温度圧力センサ装置90も、基体たるS1基板からなるセンサチップ41には感温部ダイヤフラム42および感圧部ダイヤフラム43を有し、これらの感温部ダイヤフラム42と感圧部ダイヤフラム43との中間位置には冷陰極44が設けられている。また、冷陰極44の近傍位置には第1のゲート電極46および第2のゲート電極47が設けられている一方、感温部ダイヤフラム42および感圧部ダイヤフラム43と対峙する位置には第1のアノード電極48および第2のアノード電極49が設けられている。従って、感温部ダイヤフラム42および感圧部ダイヤフラム43のいずれの側も、原理的には圧力センサとして機能し、そのうち、感温部ダイヤフラム42の側には、その裏面側に微量のガスを気密封止したガス封入部56が設けられているため、実施例6に係る温度圧力センサ装置と同様に、感温部ダイヤフラム42の側は、温度センサとして機能するようになっている。

【0066】さらに、本例の温度圧力センサ装置90においては、感温部ダイヤフラム43およびガス封入部56が形成されたセンサチップ51をその背面側で支持するベース53には、ガス封入部56の裏面側に相当する

位置に熱伝導性の高い材質、たとえば、銅、アルミニウム、ベリリウム、金、銀、モリブデンなどからなる熱伝導板73が埋め込まれており、この熱伝導板73の上面がガス封入部56の下面59を構成している。その他の構成については実施例6に係る温度圧力センサ装置と同様である。

【0067】このような構成の温度圧力センサ装置90においては、ベース53に熱伝導板73が取り付けられているため、ベース53の側からガス封入部56への熱伝導性が高い。従って、ガス封入部56内のガスは、周囲の温度変化に対して高い追従性をもって膨張または収縮して感温部ダイヤフラム43に対する圧力を変化させるので、温度圧力センサ装置90のレスポンスが高い。

【0068】ここで、熱伝導板の形状などについては、本例の変形例に係る温度圧力センサ装置の構成を図22に示すように、ベース53の背面側にフランジ部74aを有する熱伝導板74を採用してもよく、この場合には、ベース53の側からの熱伝導性が向上するので、温度圧力センサ装置90のレスポンスをさらに向上することができる。

【0069】以上のとおり、実施例6ないし実施例8のいずれの温度圧力センサ装置においても、温度変化を圧力変化に変換してそれをアノード電流の変化して検出する温度圧力変化型の温度センサを構成でき、しかも同一基体上に温度センサおよび圧力センサを有するため、圧力および温度のいずれをも測定できるので使い勝手が良い。

【0070】なお、実施例6ないし実施例8のいずれの温度圧力センサ装置においても、温度センサ側および圧力センサ側に対応する電子放出部（陰極）を必要とするが、その冷陰極の構成については、たとえば、温度センサ側および圧力センサ側が一体のものとしては、実施例6ないし実施例8に示すものの他に、図23および図24に示すものを採用できる。すなわち、冷陰極と第1のゲート電極46および第2のゲート電極47との位置関係を模式的に示すように、共通の基部（回路パターン）から第1のゲート電極46および第2のゲート電極47（第1のアノード電極48および第2のアノード電極49）に向かって複数のクシ歯状冷陰極部75a、75bが張り出す共通型クシ歯状冷陰極体75、共通の基部からリング状冷陰極部77が立ち上がる共通型リング状冷陰極体76を採用できる。これらの共通型クシ歯状冷陰極体75および共通型リング状冷陰極体76の場合には、共通の基部側を介してクシ歯状冷陰極部75a、75bおよびリング状冷陰極部77に負の電位が印加されて放出電子62、63が第1のアノード電極48および第2のアノード電極49に向かって放出される。また、温度センサ側および圧力センサ側の冷陰極がそれぞれ独立して構成されたものとしては、図25および図26に示すものを採用できる。すなわち、それぞれの基部

21

(回路パターン) から第1のゲート電極46および第2のゲート電極47 (第1のアノード電極48および第2のアノード電極49) に向かって複数のクシ歯状冷陰極部78a, 79aが張り出すアイソレート型クシ歯状冷陰極部78, 79、分離ライン82で絶縁分離された基部(回路パターン) からリング状冷陰極部80a, 81aが立ち上がるアイソレート型リング状冷陰極部80, 81を採用できる。これらのアイソレート型クシ歯状冷陰極部78, 79およびアイソレート型リング状冷陰極部81, 82の場合には、それぞれの基部側を介してクシ歯状冷陰極部78a, 79aおよびリング状冷陰極部80a, 81aに負の電位が印加されて放出電子62, 63が第1のアノード電極48および第2のアノード電極49に向かって放出される。

【0071】なお、温度センサ側については、実施例6ないし実施例8として記載のものに限らず、実施例1ないし実施例5の圧力センサを基本的な構成とし、そのダイヤフラム部などの可動部に対して、温度に対応した圧力を加えるガス封入部などの温度圧力変換手段を設けることによって、圧力検出型の温度センサを構成できる。この場合に、温度センサ側および圧力センサ側の基本的な構成を同一のものである方が製造工程およびアノード電流の検出回路などの構成を簡略化できるが、用途などに応じて、別々の基本構成を有する温度センサと圧力センサとを同一基板上に備える温度圧力センサ装置を構成してもよい。

【0072】〔実施例9〕図27は本発明の実施例9に係る加速度センサを示す。この加速度センサは、ガラスベース10上のSi基板1の裏面に形成した円環状溝部1aで画成された周囲固定部1b及び中央の可動部2と、Si基板1の表面に形成された中心部のエミッタ電極4と、エミッタ電極4の外側周囲に形成された円環状の制御電極5と、固定部1bの表面において制御電極5の外側周囲に形成された円環状の陽極6とを有している。エミッタ電極4、制御電極5及び陽極6は引き出し配線4a, 5a, 6aを介してSi基板1の辺部に形成したパッド部4b, 5b, 6bに接続している。なお、エミッタ電極4及び制御電極5は絶縁膜3a上に形成されている。ガラスベース10とSi基板1とは陽極接合により接続されており、ベース10の上部には可動部2の上下動を規制する凹部10aが形成されている。

【0073】この加速度センサにおいては、X-Y軸平面上において円形のエミッタ電極4、円環状の制御電極5及び円環状の陽極6が同心的に配置されているため、中央部のエミッタ電極4から放射方向へ冷電子が等方的に放出されるので、エミッタ電極4の周囲端面のいずれの部位における電流密度も相等しくなる。従って、電界放出のしきい値電圧がほぼ一定となるため、分解能の良いセンサが実現されている。

【0074】上記各実施例と同様に、図28に示すよう

22

にZ軸方向の加速度Gが加わると、薄肉の支持部3に囲まれた可動部2が下方へ変位する。この変位は可動部2上の電子放出部と固定部1a上の電子集電部との相対的電界分布を変化させるため、電子集電部への電子到達経路を絞り込むことになり、電子捕獲率が減少し、陽極電流の低下として加速度の大きさが検出される。また陽極電流の微分値を測定することによりZ軸方向の加速度の向きも検出することができる。

【0075】なお、上記の配置とは逆に、固定部1b上に円環状のエミッタ電極と、その内側に円環状の制御電極と、可動部2上の中央に陽極を設けた配置構成でも、同様の効果を得ることができる。

【0076】〔実施例10〕図29は本発明の実施例10に係る加速度センサを示す。この加速度センサは3軸方向の加速度検出用のセンサであり、可動部2上の中央にはクシ歯状の円環のエミッタ電極4と、その周りの円環状の制御電極5と、固定部1b上の円周方向に形成された4つの同形の陽極6_{x1}, 6_{x2}, 6_{y1}, 6_{y2}とを有している。陽極6_{x1}, 6_{x2}は図示X軸上にあり、また陽極6_{y1}, 6_{y2}はY軸線上にある。従って、陽極6_{x1}, 6_{x2}, 6_{y1}, 6_{y2}はそれぞれエミッタ電極4の周りに±90°回転対称の位置にある。なお、このセンサの固定部1b及び可動部2の下面には錐としてのガラス部10aが接合されている。例えば、X(又はY)軸方向にのみ加速度が加わると、図30(a)に示す如く可動部2が変位する。このような変位は陽極6_{x1}, 6_{x2}, (又は6_{y1}, 6_{y2})の陽極電流を減少させる。従って、陽極6_{x1}, 6_{x2}, (又は6_{y1}, 6_{y2})の合成(加算)電流を検出することによりX(又はY)軸方向の加速度の大きさを測定することができる。また、Z軸方向にのみ加速度が加わると、図30(b)に示す如く可動部2が変位する。このような変位はすべての陽極6_{x1}, 6_{x2}, 6_{y1}, 6_{y2}の電流を減少させる。従って、すべての陽極6_{x1}, 6_{x2}, 6_{y1}, 6_{y2}の電流を合成(加算)することによりZ軸方向の加速度の大きさを測定することができる。

【0077】図31は上記センサの実装構造を示す。センサチップ100は金属ステム101上にロウ着けにより固定されており、内部真空状態を保持する金属キャップ102で気密封止されている。金属ステム101にはハーメチックシール103を介して端子104が貫通しており、その先端とセンサチップ100のパッド部とは金線等のボンディングワイヤ105にて接続されている。なお、106はノイズフィルタの貫通コンデンサであり、電源周りのノイズがセンサチップ100へ波及するのを防止している。

【0078】このような金属ステム101と金属キャップ102によるセンサチップ100の包囲構造は、外部電界によるセンサチップ100の電界分布の擾乱を防止している。即ち、金属ステム101と金属キャップ102は静電遮蔽構造を実現している。静電遮蔽部材として

の金属キャップ102を電氣的に浮かしても良いが、所定電位に固定しても良い。

【0079】〔実施例11〕図32は本発明の実施例11に係る加速度センサを示す。このセンサにおいては、ガラスベース10aの凹所には金属電極10bが形成されている。またセンサチップ100の上はカバーガラス10cで覆われている。基板1の固定部1b-は下部p⁺型領域と上部n型領域が形成され、pn接合分離されている。下部p⁺型領域に負電位を、上部n型領域に正電位を印加することにより可動部2が金属電極10b側へ静電引力により吸引されて変形する。従って、加速度又は力をセンサチップ100を加えずとも可動部2を変形させるとができるので、センサの作動チェックを容易に行なうことができる。また、静電引力又は静電斥力を印加した状態ではセンサに変形バイアスを持たせることができるので、センサのバラツキを低減させることができる。なお、センサチップ100とガラスベース10aとのギャップやセンサチップ100とカバーガラス10cとのギャップは定格変位の1.5~2.0倍程度に設定する。急激な可動部の変形を抑制するストップ機能を持たせるためであり、センサチップ100の破壊が防止できる。センサチップ100とガラスベース10a及びカバーガラス10cの接合は静電接合と呼ばれる公知の接合方法で行なうことができる。

【0080】〔実施例12〕図33は本発明の実施例12に係る加速度センサを示す。このセンサは図29に示す実施例10の改善例であり、陽極の個数及び配置において異なる。即ち、図33(a)に示すように、X軸とY軸の間のm軸上に陽極6_{1,1}、6_{1,2}が設けられている。X軸とY軸のなす平面上の加速度は、X軸、Y軸の成分に分解できるので、X軸上の陽極6_{1,1}、6_{1,2}の合成電流の増減を検出することにより加速度のX成分を測定できると共に、Y軸上の陽極6_{2,1}、6_{2,2}の合成電流の増減を検出することにより加速度のY成分を測定できる。またm軸上に陽極6_{3,1}、6_{3,2}は空間座標Z軸の加速度検出専用に割当てたものであり、陽極6_{3,1}、6_{3,2}の合成電流を検出することでZ軸の加速度を測定することができる。ここで、加速度はデカルト座標X、Y、Zの他に、X軸、Y軸、Z軸の周りのモーメントで完全に特定される。即ち、望ましくは6軸検出センサを実現する必要がある。陽極の個数を増やすと共に、配置を工夫することにより6軸検出センサの実現は可能である。例えば、一例として、Z軸の周りのモーメントが加わったときは、エミッタ電極4が回転するので、そのクシ歯の端面(電子放出面)と例えば陽極6_{1,1}、6_{1,2}との対向面積が変化する。このため、陽極6_{1,1}、6_{1,2}の電流は共に同等だけ変化する。この電流変化を検出するとによりZ軸の周りのモーメントの大きさ又は向きを測定することができる。

【0081】上記各実施例においては、可動部2の変形

により電子放出経路又は電子到達経路の電界分布を変化させることで陽極電流を増減させている。センサチップの幾何学的形状を変えることで様々な変形モードを得ることができるが、強制的電界分布を規定する電場規定用の電極を適宜設けても良いし、また磁石等の磁界で電子の放出経路・到達経路を変えても良い。

【0082】

【発明の効果】以上のとおり、本発明に係る力センサは、電子を放出する陰極を備える電子放出部と、陰極から放出された電子を捕獲する陽極を備える電子吸収部と、力又は加速度による可動部の変位に基づいて陽極の電子捕獲効率を制御する制御手段とを有する冷電子放出型で空間変形による電子捕獲率を変化させるセンサである。

【0083】従って、次の効果を奏する。

【0084】① 制御手段による電子捕獲効率制御に基づく出力電流の変化率から力又は加速度を測定することができ、出力電流の変化率を最大100%に設定することが可能であるので、感度が良い。また、電界放出を利用しているので、温度依存性が殆どなく、放射線、高温および高圧に強い耐環境性に優れた高信頼性の力センサを構築することができる。

【0085】② ここで、陰極と陽極との間に補助陽極を設けて陰極から放出された電子を引き寄せて陽極に向かわせる場合には、電子捕獲効率のレベルが向上し、力センサの感度が向上する。

【0086】③ 陽極周辺の電界分布を規定する電界規定用電極を設けた場合には、電子経路の拡散や絞り込みが可能であり、感度ないし分解能を向上させることができる。

【0087】④ 静電引力又は静電斥力により前記可動部を変位させるバイアス電極を設けた場合には、容易に作動チェックを行なうことができ、テスト容易性に寄与する。

【0088】また、センサのバラツキに応じた値の電位をバイアス電極に印加して測定することで特性の画一化を図るとができるので、校正電極としての意義もある。

【0089】⑤更に、X軸、Y軸上に複数の独立の陽極部を設けるとにより、力又は加速度の多次元成分(モーメント成分も含む)を検出可能になる。

【0090】⑥ 圧力センサにおいて、可動部が基体の厚肉部より梁状に張出す片支持可動部となっている場合には、片支持可動部の先端側は圧力に対応して大きく可動する反応容易性を有しているため、圧力の微小な変化を検知することができる。

【0091】⑦ また、基体の裏面側に、第2の電子放出部および第2の電子吸収部と、基体の表面側からの圧力に対応してこれら第2の電子放出部および第2の電子吸収部に圧力を与える充填材とを有している場合には、大きな出力電流を得ることができるので、圧力による出力

電流の変化率が顕著となり、圧力センサの感度を更に向上させることができる。

【0092】⑧ このような構成の圧力センサにおいて、基体に半導体基板を採用した場合には、ミクロン・オーダーの微細加工が可能なので、圧力センサの小型化を図ることができ、その用途を拡大することができる。

【0093】⑨ さらに、圧力センサのダイヤモンド部などの可動部に対して、温度に対応した圧力を加えるガス封入部を設けて温度センサを構成することによって、上記の圧力センサと同様に、感度が良く、耐環境性にも優れた高信頼性の温度センサを構成することができる。しかも、同一基体上に圧力センサと温度センサとを構成して温度圧力センサ装置を容易に構成でき、圧力および温度のいずれをも高感度で検出できて、耐環境性も高いセンサ装置を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1に係る圧力センサの構成を示す断面図である。

【図2】同圧力センサに加速度による圧力が加わった状態を示す断面図である。

【図3】同圧力センサにおいて、Si基板上に形成される各電極を拡大して示す斜視図である。

【図4】同圧力センサにおいて、各電極のバイアス状態を示す説明図である。

【図5】同圧力センサの各電極として選択可能な一例を示す斜視図である。

【図6】本発明の実施例2に係る圧力センサの構成を示す断面図である。

【図7】同圧力センサに加速度による圧力が加わった状態を示す断面図である。

【図8】本発明の実施例3に係る圧力センサの構成を示す断面図である。

【図9】同圧力センサの平面図である。

【図10】本発明の実施例4に係る圧力センサの構成を示す断面図である。

【図11】同圧力センサの平面図である。

【図12】本発明の実施例5に係る圧力センサの構成を示す断面図である。

【図13】本発明の実施例6に係る温度圧力センサ装置の構成を示す断面図である。

【図14】同温度圧力センサ装置の構成を示す平面図である。

【図15】同温度圧力センサ装置の動作状態を示す断面図である。

【図16】本発明の実施例7に係る温度圧力センサ装置の構成を示す断面図である。

【図17】同温度圧力センサ装置の効果を説明するための説明図である。

【図18】同温度圧力センサ装置の動作状態を示す断面図である。

【図19】本発明の実施例7の変形例に係る温度圧力センサ装置の構成を示す断面図である。

【図20】同温度圧力センサ装置の構成を示す平面図である。

【図21】本発明の実施例8に係る温度圧力センサ装置の構成を示す断面図である。

【図22】本発明の実施例8の変形例に係る温度圧力センサ装置の構成を示す断面図である。

【図23】本発明の実施例6ないし実施例8に係る温度圧力センサ装置において、温度センサ側および圧力センサ側で共通の冷陰極として使用できる共通型クシ歯状冷陰極体の構成を示す平面図である。

【図24】本発明の実施例6ないし実施例8に係る温度圧力センサ装置において、温度センサ側および圧力センサ側で共通の冷陰極として使用できる共通型リング状冷陰極体の構成を示す平面図である。

【図25】本発明の実施例6ないし実施例8に係る温度圧力センサ装置において、温度センサ側および圧力センサ側で別々の冷陰極として使用できるアイソレート型クシ歯状冷陰極体の構成を示す平面図である。

【図26】本発明の実施例6ないし実施例8に係る温度圧力センサ装置において、温度センサ側および圧力センサ側で別々の冷陰極として使用できるアイソレート型リング状冷陰極体の構成を示す平面図である。

【図27】(a)は本発明の実施例9に係る加速度センサを示す平面図、(b)は断面図である。

【図28】実施例9のセンサの動作を示す断面図である。

【図29】(a)は本発明の実施例10に係る加速度センサを示す平面図、(b)は断面図である。

【図30】実施例10のセンサそれぞれの動作を示す平面図である。

【図31】実施例10のセンサの実装構造を示す断面図である。

【図32】本発明の実施例11に係る加速度センサを示す断面図である。

【図33】(a)は本発明の実施例12に係る加速度センサを示す平面図で、(b)は断面図である。

【図34】従来の半導体加速度センサを示す平面図である。

【図35】図34に示す半導体加速度センサの断面図である。

【図36】従来の半導体圧力センサを示す断面図である。

【図37】図36に示す半導体圧力センサのストレン・ゲージ部を拡大して示す断面図である。

【符号の説明】

- 1・・・Si基板
- 2・・・可動部
- 3・・・支持部

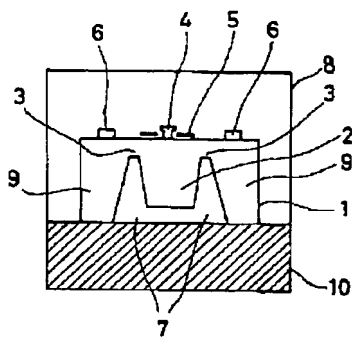
27

- 4・・・エミッタ電極（陰極）
 5・・・ゲート電極（制御電極）
 6, 6_{x1}, 6_{x2}, 6_{y1}, 6_{y2}, 6_{z1}, 6_{z2}は・・・アノード電極（陽極）
 7・・・V溝
 9・・・厚肉部
 10, 53・・・ベース
 11・・・遮蔽壁
 12・・・底部
 13・・・開孔部
 14・・・絶縁膜
 15, 62, 63, 68, 69, 70, 71, 72・・・放出電子
 16・・・ダイヤモンド部
 20・・・障壁
 21・・・上方電極
 22・・・電極支持部材
 23・・・オイル
 24・・・下部エミッタ電極
 25・・・下部ゲート電極
 26・・・下部アノード電極
 27・・・片支持可動部
 36・・・導入部

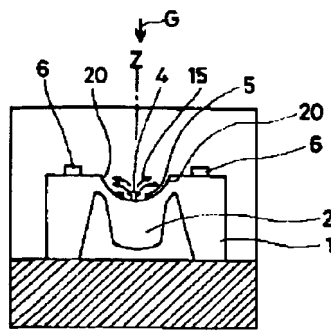
28

- 40, 70, 90・・・温度圧力センサ装置
 41・・・センサチップ
 42・・・感温部ダイヤモンド
 43・・・感圧部ダイヤモンド
 44・・・冷陰極
 46・・・第1のゲート電極
 47・・・第2のゲート電極
 45・・・冷陰極下部共通電極層
 48・・・第1のアノード電極
 49・・・第2のアノード電極
 56・・・ガス封入部
 57・・・微小空間部
 64・・・変形状態の感温部ダイヤモンド
 65・・・変形状態の感圧部ダイヤモンド
 66, 66a・・・補助アノード66a
 73, 74・・・熱伝導板
 75・・・共通型クシ歯状冷陰極体
 76・・・共通型リング状冷陰極体
 78, 79・・・アイソレート型クシ歯状冷陰極体
 80, 81・・・アイソレート型リング状冷陰極体
 G・・・圧力
 g・・・下部圧力
 P・・・変位

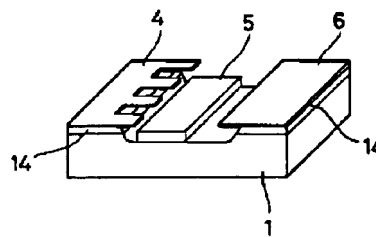
【図1】



【図2】

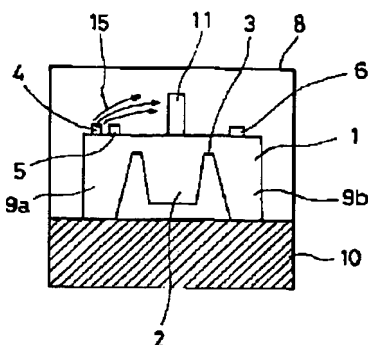


【図5】

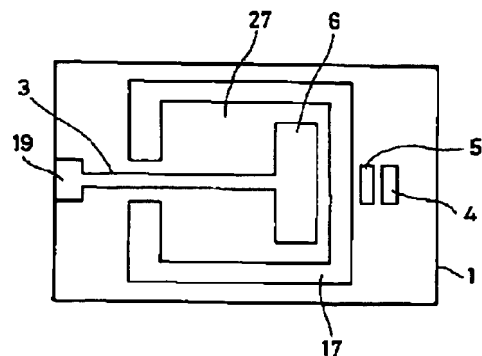
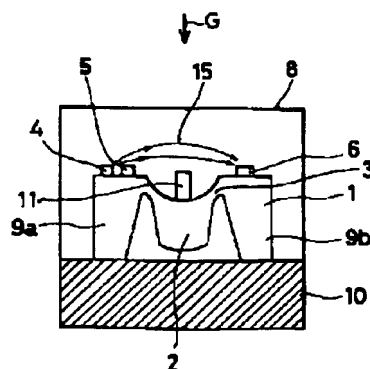


【図9】

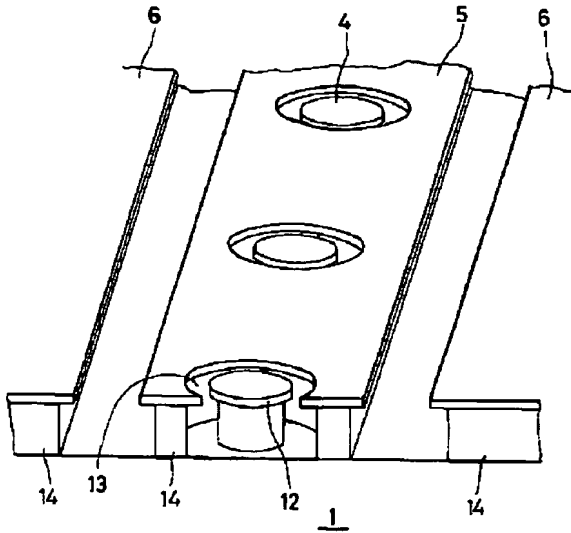
【図6】



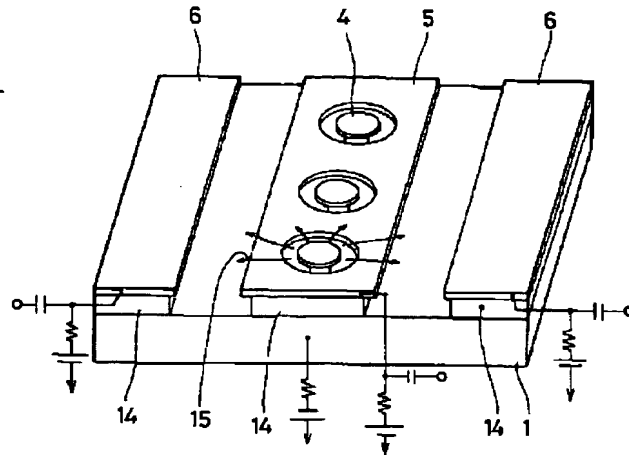
【図7】



【図3】

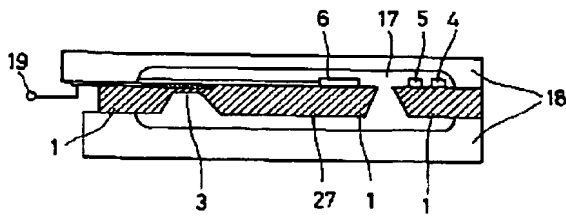


【図4】

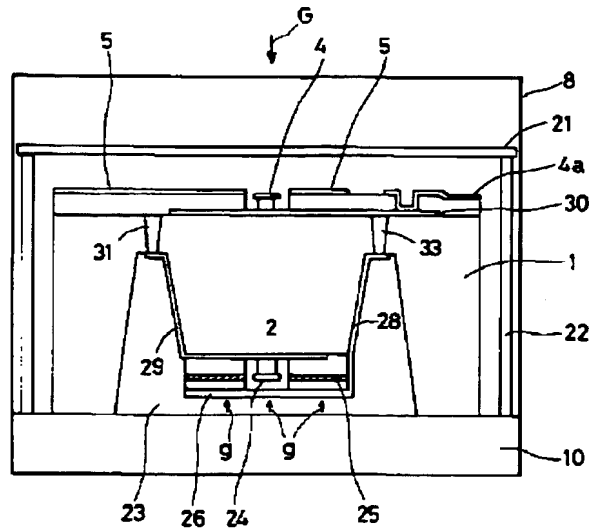
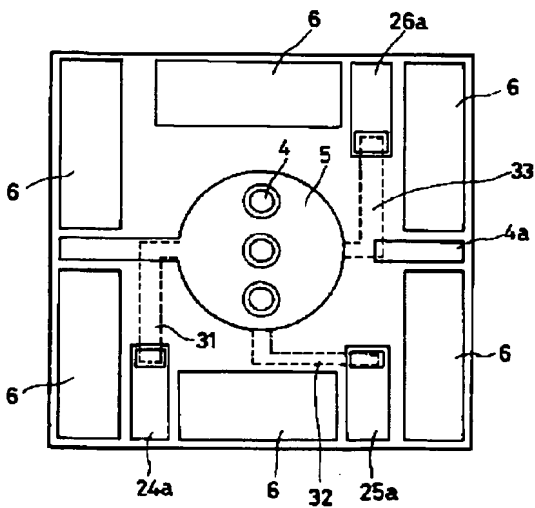


【図10】

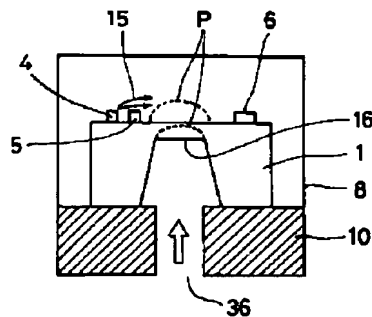
【図8】



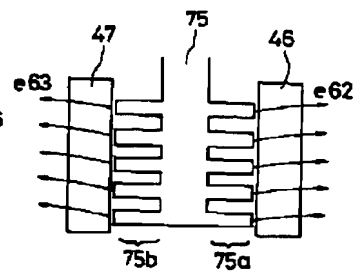
【図11】



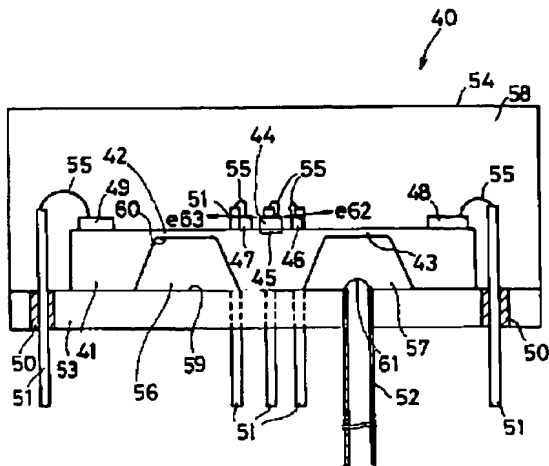
【図12】



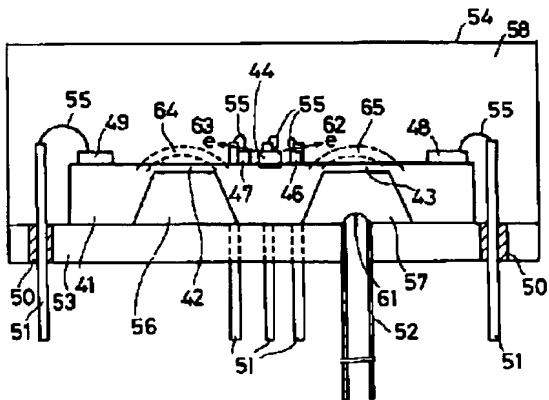
【図23】



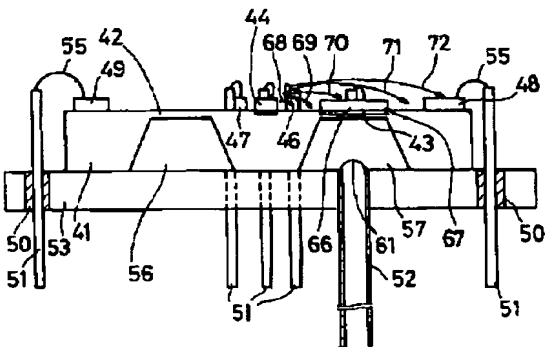
【図13】



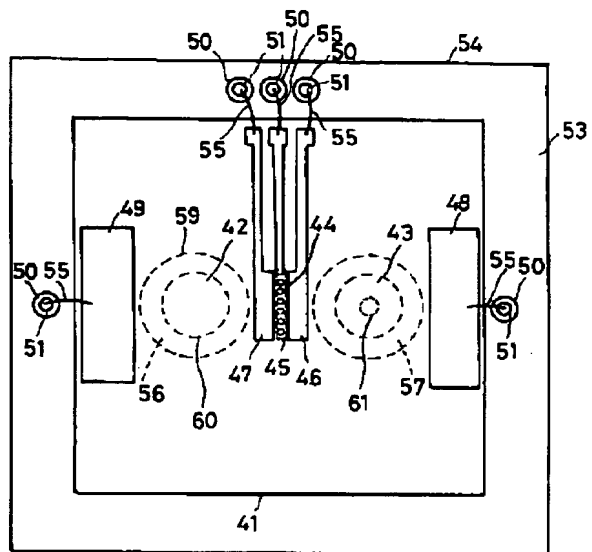
【図15】



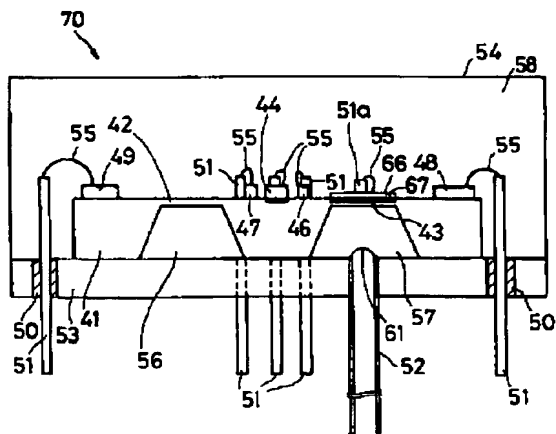
【図17】



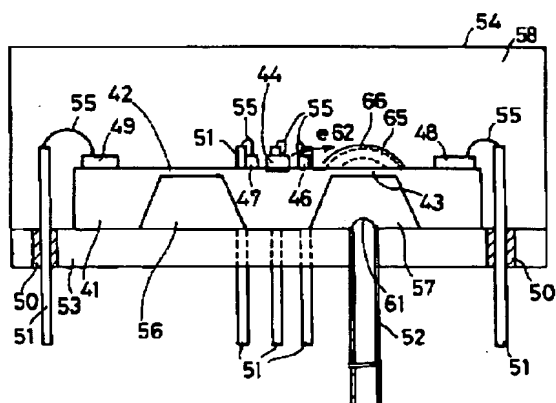
【図14】



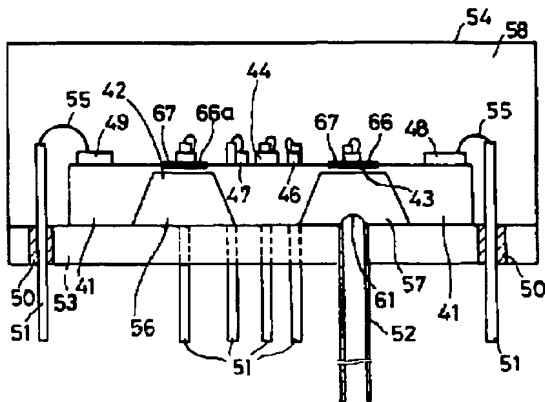
【図16】



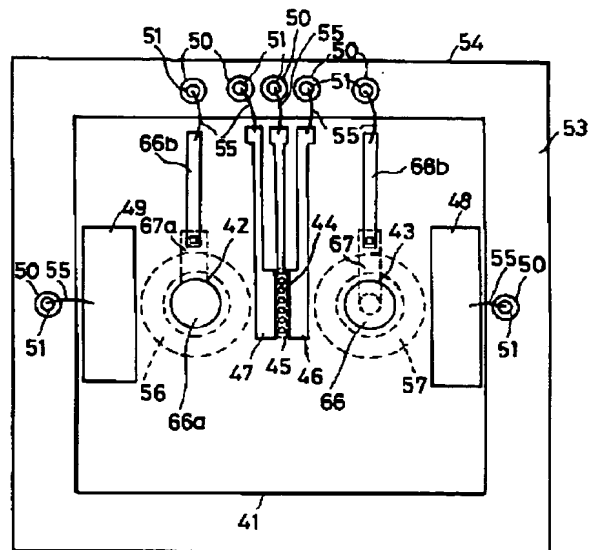
【図18】



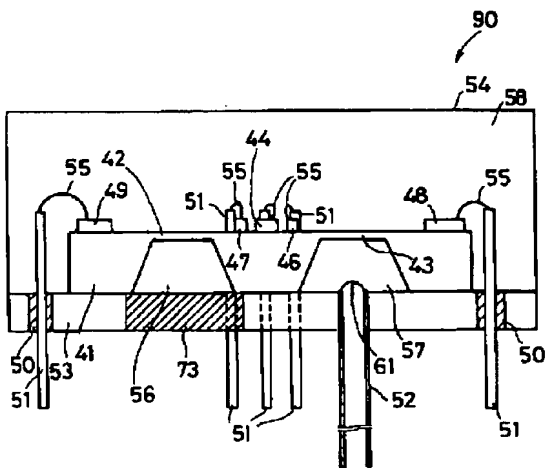
【図19】



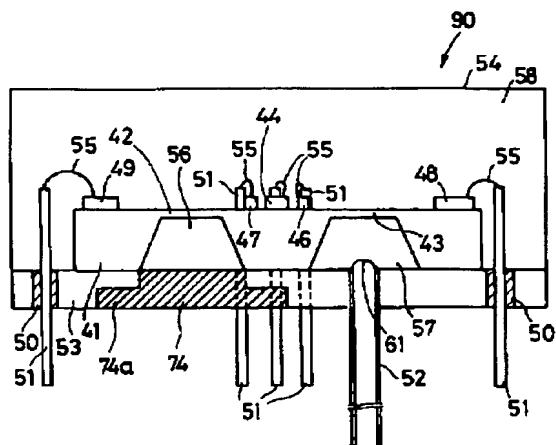
【図20】



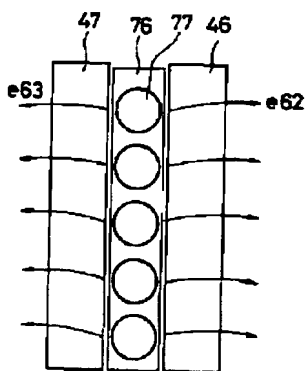
【図21】



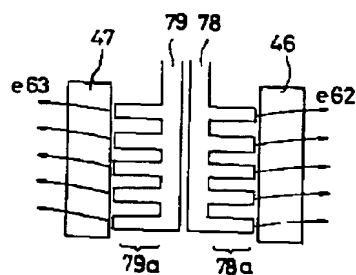
【図22】



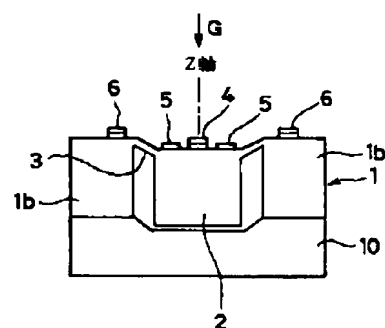
【図24】



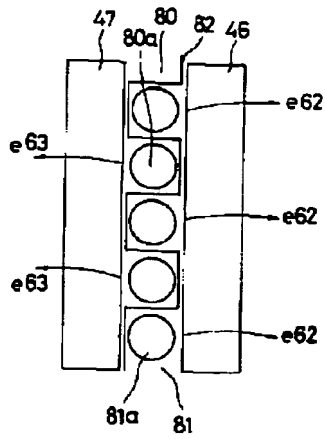
【図25】



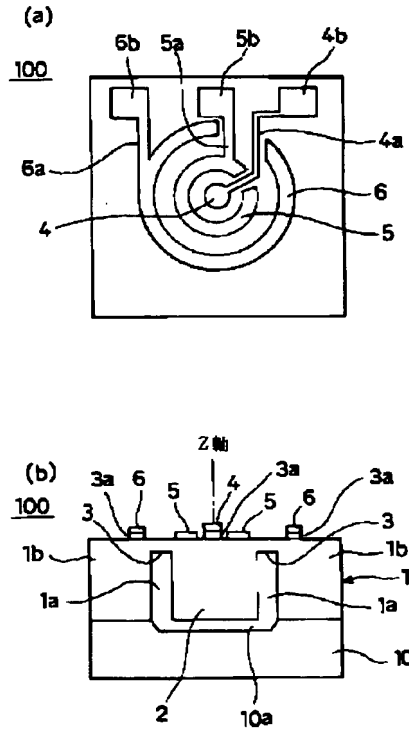
【図28】



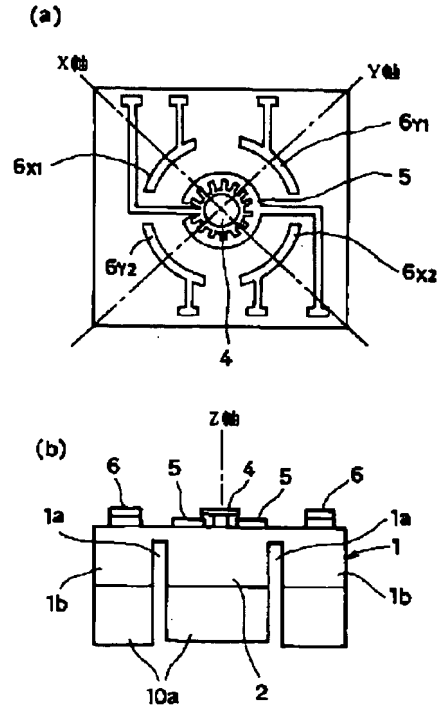
【図26】



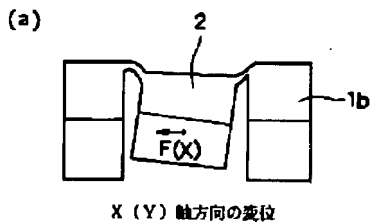
【図27】



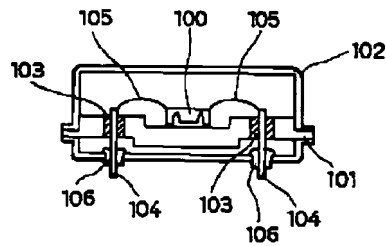
【図29】



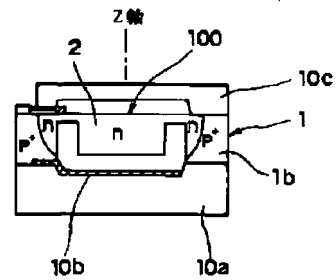
【図30】



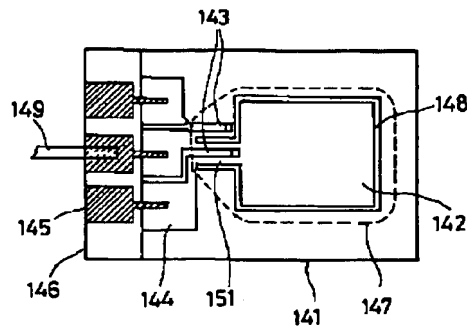
【図31】



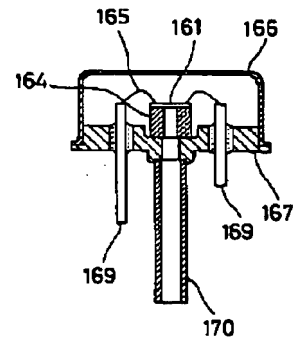
【図32】



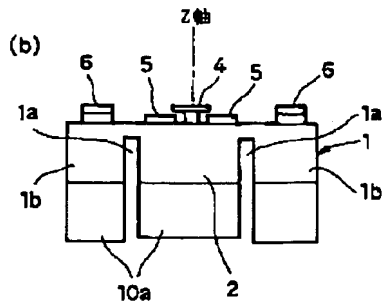
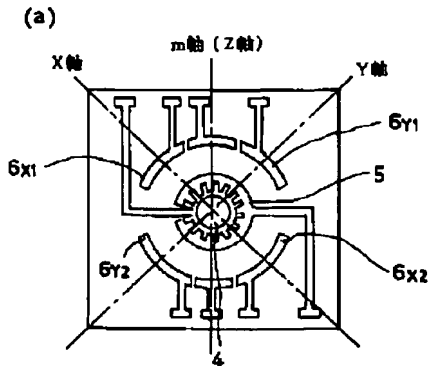
【図34】



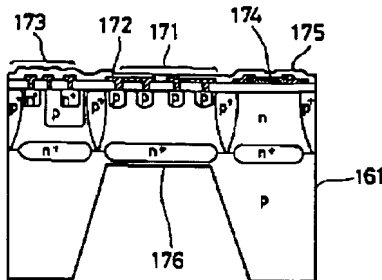
【図36】



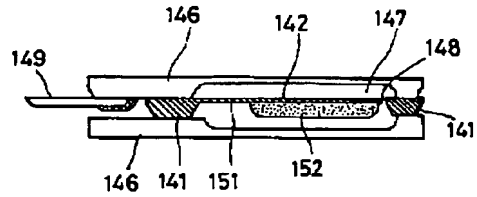
【図33】



【図37】



【図35】



【手続補正書】

【提出日】平成5年11月19日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0051

【補正方法】変更

【補正内容】

【0051】

【数1】

$$V = \frac{\pi h}{3} (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2)$$

$$= \frac{\pi h}{4} \left(a^2 + \frac{b^2}{3} \right)$$

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0053

【補正方法】変更

【補正内容】

【0053】従って、形状のガス封入部56の高さ h を $270\mu\text{m}$ 、上面側の内径 r_2 を $0.8\mu\text{m}$ 、下面側の内径 r_1 を $1.0\mu\text{m}$ とすると、その内容積 V は、上式により約 7×10^{-13} リットルと求まる。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0054

【補正方法】変更

【補正内容】

【0054】ここで、温度が 300K のときにガス封入部56から感温部ダイヤフラム42に 0.01atm の圧力が加わるように設定するには、上述のボイルシャルルの法則からモル数 (n) で約 2.8×10^{-16} モルの

ガスをガス封入部56に封入しておけばよい。この場合には、温度が 800K になったときには、ガス封入部56から感温部ダイヤフラム42に約 0.026atm の圧力が加わる。従って、ガス封入部56から感温部ダイヤフラム42に 0.01atm から 0.026atm の圧力が加わった状態における第2のアノード電極49から取り出されたアノード電流値を求めておき、温度の計測時に検出されたアノード電流を温度に換算すれば、温度が求まる。すなわち、感温部ダイヤフラム42の側は、温度センサとして機能する。なお、ガス封入部56に封入するガスとしては、アルゴンガスなど分子量の大きな不活性ガスが経時的安定性や透過性などの面で好ましい。